

·综述·

结合 Kinect 的上肢运动康复系统的研究进展*

黄 静¹ 魏智真¹ 李国翠¹ 刘 佳^{1,2} 张小瑞¹

上肢是人们在日常生活中使用最频繁的身体部位,上肢的运动功能障碍会严重影响人们的生活自理能力。研究发现,运动控制障碍在上运动神经元(upper motor neuron, UMN)性神经瘫痪、颅脑损伤、脊髓损伤等导致的脑卒中(也称脑卒中)患者中十分常见,根据病变损害的部位不同,在临床上可产生不同类型的瘫痪,如单瘫、偏瘫等,不同的瘫痪表现不同,但其病理核心是动态畸形(肌肉失神经控制而导致的肌肉力量失衡)和静态畸形(长期活动障碍导致肌肉及结缔组织的继发性痉挛和骨关节畸形)^[1-2]。我国每年新发脑卒中患者超过200万,而在卒中的各种不同症候中,80%以上的患者会存在肢体运动功能障碍^[3-4]。对于脑卒中后偏瘫患者,其上下肢功能恢复的进程大多差异明显,下肢的粗大运动恢复较快,上肢以灵活协调和技能性运动为主,在大脑皮质躯体感觉及躯体运动功能区中都占有相当大的投射区域,恢复相对缓慢,难度较大。故对上肢功能康复已成为现代康复医学和医疗工程研究的难度和热点。

近年来,随着运动康复理论的不断发展和完善,结合计算机视觉、传感器、人机交互等先进技术,国外已初步建成医疗康复大数据产业链:从传感器研发到智能可穿戴设备及检测设备到数据存储到大数据的智能分析都已经初具规模,尤其是以传感器作为个人康复数据的采集基础则更加容易获取连续且全面的个人健康信息,对患者康复的管理和后期指导提供更专业、更及时的帮助。而目前国内的医疗康复大部分仍采用的是传统的康复方式,即安排患者在医院固定的康复室,利用现有的康复机械辅助设备进行康复训练,训练依赖于在旁辅助的医疗人员的指导。与国外的智能化康复相比,国内传统康复的不足主要表现在患者与机械的交互枯燥,康复环境单一,缺乏对康复运动过程实时自动测量评估,从而导致运动康复进程缓慢,患者康复效果不尽理想。因此,改善国内康复系统,提高患者康复效率已经成为医疗康复领域的研究重点。

运动康复治疗是通过大量有一定强度的运动动作的训练^[5],改善肢体控制能力和促进中枢神经系统功能重塑,纠正肌肉张力和力量失衡以及异常的肢体生物力学缺陷,提高患

者的实际运动能,从而帮助患者恢复自理能力。可见,运动康复的进程是缓慢的,而训练中肢体关节等很多细微的变化通过医师的肉眼无法准确观察出来,因此利用传感器实时获取患者的运动数据并进行分析处理成为现代康复医疗系统的一大趋势。微软公司最先推出的用于体感游戏的控制器 Kinect,突破传统人机交互时必须触摸控制器的限制,利用人体的手势、体态、语音等与系统进行直接自然交互,能实时跟踪人体骨骼,从而将诊断和治疗进行有机结合,让治疗师和患者更好地评估动作的准确度和精确度,以进行更有效的分析和评价。

1 Kinect 简介

1.1 Kinect 内部结构和工作原理

2010年6月,微软推出新兴体感交互式传感器 Kinect,由彩色摄像头、红外线装置、麦克风阵列、逻辑电路、马达等部分构成^[6]。Kinect是一个基于“管道”的体系结构,主要提供三大类原始数据信息,包括深度数据流、彩色视频流、原始音频流,同时分别对应骨骼跟踪、身份识别、语音识别三个处理过程。其中骨骼跟踪是 Kinect 实现人机非接触的重要基础,通过红外投影机和红外摄像头捕捉深度图像,并生成周围环境的景深图像,从获取的深度图像中分离出人体骨骼图,识别出人体关节部位,最后根据骨骼追踪的20个人体关键节点(图1)生成一幅骨架系统,其中仅上肢而言, Kinect 能够实时捕捉到患者两侧上肢的手部、手腕、手肘、肩部各4处关节的具体位置,并且由于红外摄像头的应用使得环境光照、衣服颜色、肤色对骨骼跟踪不会产生影响^[7-8]。

1.2 Kinect 特点

与传统的传感器相比,在无须直接接触人体的情况下, Kinect 能够提供多种识别方式:人脸识别技术,可以有效帮助识别用户身份;语音识别技术, Kinect 麦克风阵列捕获的音频数据流通过音频增强效果算法来屏蔽环境噪声,即使人离麦克风有一定距离,也能够进行语音识别;骨骼跟踪功能,不受环境光照、衣服颜色、肤色影响,能较准确识别出简单的体态,且可以兼容不同身高的人体,还可以分辨出坐在在椅

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.09.026

*基金项目:国家自然科学基金(61203316、61203319、61502240);江苏省自然科学基金(BK20141002)

1 南京信息工程大学信息与控制学院,南京,210044; 2 通讯作者
作者简介:黄静,女; 收稿日期:2016-02-06

子上或者沙发上的人体。

为方便开发者利用 Kinect 在不同领域进行深入研究,微软也随之推出 Kinect SDK 开发包,开发者借助 Visual Studio 平台,可以利用 C++ 或者 C# 等语言开发相关应用^[9]。目前,最新发布的 Kinect SDK2.0 与 Kinect SDK1.0 相比,可以准确识别 6 个人,每个人可以分别识别出 25 个骨骼关节点(第一代传感器只能跟踪到 2 个骨骼和单个人体的 20 个关节点);能够进行手部的精细识别(如拇指跟踪、手指末端跟踪等);支持探测被阻挡的关节(如被手挡住的肘部);提供增强的高质量操作范围(0.5—4.5m);彩色图像的分辨率可达到 1920×1080,使得水平和垂直方向上具有更宽阔的深度和彩色视野。开发包的及时更新帮助提升人机交互的自然性,减小 Kinect 的运动测量误差,使得动作识别更加精准,为开发者的研究提供了良好的技术支持^[10-12]。

与传统的智能硬件相比,Kinect 所提供的自然体感交互技术和精度较高的运动测量技术使其应用领域更为广泛,而随着近年来康复医疗领域智能化的需求,将 Kinect 应用到运动康复系统中引起医学界的广泛关注,国内外专家通过不断的尝试已经初步开发出一些结合 Kinect 的运动康复训练系统。

2 Kinect 在运动康复系统中的应用

研究表明,瘫痪患者经过正规的康复训练可以明显减少或者减轻瘫痪后遗症,但瘫痪康复不等同于“锻炼”,不恰当的肌力康复训练可能会强化患侧上肢的屈肌协同,使得负责关节屈曲的肌肉痉挛加重,导致关节肌肉损伤、骨折、痉挛加重、异常痉挛模式等,因此,针对脑卒中导致的上肢运动障碍患者,需要考虑患者的关节活动度、肌张力以及拮抗之间协

调性进行针对性的康复训练。

目前大多数结合 Kinect 的上肢康复系统的研究按照康复实施方式可以分为单独使用 Kinect 的纯软件康复系统和将 Kinect 与其他辅助设备相结合的康复系统。

2.1 单独使用 Kinect 的纯软件康复系统

单独使用 Kinect 的纯软件康复系统的设备简单,只需要一台 Kinect、一台个人电脑以及显示设备即可。该类系统操作时,不受地域限制,且不需要任何外部辅助机械设,如康复机械臂、心电图扫描设备(electrocardiograph, ECG)等进行交互。系统主要是利用 Kinect 的骨骼跟踪功能实时跟踪患者的运动轨迹并与电脑中设定的康复训练动作进行对比,通过显示设备给出上肢的具体运动信息,如关节角度、抬放高度、重复次数等,帮助患者及时调整动作。

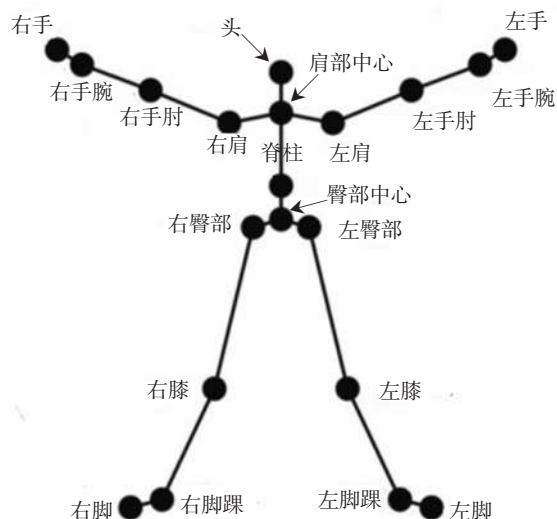
如 Chuan-Jun 等^[13]设计的 KEHR 系统,患者在医院专业医师指导下将标准康复动作保存至系统,便可以进行居家康复训练。实验邀请了 1 名因工作繁忙无法按时去医院训练肩部的患者,患者在家中医师针对性设计的 3 个肩部动作训练,患者可以在显示设备上及时得知自己的动作规范性,并根据屏幕上的评估进行调整,一段时间的训练后患者的肩部关节协调性和灵活度得到明显改善;此外,实验邀请 4 名患者对三种肩部训练动作进行测试,患者根据最终的康复结果对系统评分(评分功能是利用 DTW 算法设计)高达 80,系统有效提高患者的肩关节伸展能力。

Chang 等^[14]设计的 Kinerehab 系统,系统为 2 名患有不同运动障碍的学生设计了不同阶段的康复训练动作,包括双手平举到前方、双手平举到两侧等动作,交互界面配有音频和视频反馈,患者动作越流畅,歌声越响亮,患者一在训练初步阶段正确动作数 49 到 170,干扰阶段正确动作数从 50 到 173,患者二初步阶段正确动作数从 35 到 102,干扰阶段正确动作数错 38 到 173,将不同阶段的训练结果结合训练时间、正确动作数制成的曲线可以看出,大量重复的训练任务有效改善患者上肢关节的灵敏度,充分表明系统对激励患者进行康复训练有较大帮助。

Nuno 等^[15]设计的 KSGphysio 系统,系统以摘苹果为游戏背景,将训练动作与游戏任务相结合,实验邀请 2 名患有上肢运动障碍患者参与 5 个阶段的训练,通过横向分析比较患者摘得红绿苹果数目及游戏最终得分(红绿苹果代表的分数值不同)曲线,发现患者左右手的运动范围增大,后期阶段双手的运动速度也有显著提高,可见上肢运动功能得到明显改善。

Jose 等^[16]研制出 Remove EM 系统,系统结合增强现实(augmented reality, AR)技术,设计了 3 个小游戏:碰球、拿球、踢球。实验组和对照组分别为 6 名患者,每名患者进行为期 10h 阶段的训练(每周 1 次),利用 Tinetti 测试和 10 MWT(10m 步行测试)得出评分结果,并且提供实验者系统

图 1 Kinect 捕捉到的 20 个关键骨骼节点^[30]



反馈问卷来了解患者在康复训练后的想法,实验结果显示实验组较对照组的多发性硬化患者在经过训练后上肢平衡功能改善,脊椎重心增强,并且屏幕上的视觉和听觉提示及游戏的设定简单易懂,交互良好。

通过上述系统的分析总结,可以看出,系统均是利用Kinect的骨骼跟踪功能实时捕捉患者的关节空间坐标并捕捉节点的运动轨迹,通过电脑数据处理判定患者的康复训练动作是否达标。该类系统对患者的要求比较高,需要患者能够独立理解并使用系统的一系列操作,能不依赖辅助装置能进行训练。该类系统旨在帮助瘫痪患者的康复后期进行肌体的加强训练,从而达到恢复肢体正常运动功能的目的,并且研究者需要针对不同运动障碍的患者设计康复系统,康复训练的具体动作、康复训练的建议周期、训练动作的评估手段等都需要与患者患肢的实际情况相匹配。

由于将Kinect应用到康复系统中的研究仍处于初步阶段,Kinect的自然交互性、运动测量的准确性、康复系统的安全性等仍需要大量实验样本的对照研究与分析。此外,为区别于较为枯燥的传统康复训练,能否将目前新兴的计算机视觉技术如虚拟现实技术(virtual reality,VR)或者增强现实技术(augmented reality,AR)等应用于开发沉浸式的虚拟环境,通过仿真现实中的生活场景来刺激患者的中枢神经系统,模拟日常生活中上肢必要的运动,从而达到帮助患者增强康复信心,缩短康复时长,提高康复效率这一目的,仍需要大量的研究数据和临床试验的分析。因此,为进一步验证将Kinect应用到上肢运动康复系统中可以有效改善人机交互和提高实时运动测量精度,需要做的研究还很多。

2.2 将Kinect与其他辅助设备相结合的康复系统

事实上,研究者在设计康复系统之前所做的大量研究表明^[17-19],脑卒中治疗后的急性期约85%的患者伴有上肢功能障碍,这类患者的普遍特征是前期阶段,上肢往往必须在辅助物的支持下才可以进行一定的小范围运动训练,因此将Kinect与其他辅助设备结合的康复系统才能在一定程度上满足他们的康复需求。

梁光业等^[20]设计的康复训练系统(图2),借助KATANANA450机械臂,可以与患者直接进行交互,且价格相对低廉。利用Kinect获取手指所指示的空间,并在其对应的RGB(red, green, blue)区域内使用颜色检测的方法,充分发挥Kinect的优势,实现指示的可靠性,在后期实验中测得人手检测方法的准确率达85%,平均耗时34.5ms,结合Kinect的PBVS和IBVS仿真结果均显示机器人伺服过程收敛快,能够到达指定的位置或状态。通过Kinect获取物体的三维坐标平均误差均在0.08m以下,验证了Kinect提取人体上肢信息的有效性,仿真实验则验证了Kinect和外骨骼式上肢康复机器人相结合所取得的良好效果,可帮助缩短患者于机器人之间

的“心理距离”。但由于该机械臂的功能单一,自由度有限,对患者的某些肌群的锻炼不够到位,并且该应用研究尚未搭建实际系统,无法得知患者训练的真实效果,因此系统还需要进一步提高机械臂的自由度,增强机器人的娱乐性和趣味性,此外由于康复机器人是与人耦合度要求非常高的设备,任何不经仔细考量的因素都可能对患者造成更进一步的伤害,因此系统的安全性保护措施也需要进一步改良。

Martin等^[21]研制了一套结合多传感器的康复训练系统,系统为经桡动脉截肢者和经肱骨截肢者提供多种传感器检测和输入装置,如视线追踪装置(延时<100ms,人眼无法察觉出延时)、Kinect捕捉深度图像(误差<10mm)、舌控制系统、脑机接口(EEG,脑电图扫描器),结合计算机视觉技术AR(增强现实)设计一系列抓球动作,实验结果中患者的记录曲线呈陡峭式增长表明多任务动作的设计,不仅提高患者的康复顺从性,也加强了患者的手眼协调能力;此外,多传感器输入方式提供给截肢患者多种选择,帮助他们尽早控制义肢运动,但同时由于系统结合多种传感器和外部设备,如利用机电传感器感受假体的肌肉控制信息,由于肢体自由度的限制会干扰数据的传输;利用EEG直接获取脑部控制信息,会加重患者的认知负荷,导致神经压迫妨碍运动恢复;利用视线追踪捕捉患者眼部追踪信息,由于眼球运动的难以协调和控制以及视线余光分散,会干扰捕捉效果。因此,在系统实际应用之前,需要进一步优化各个模块的功能,减小系统整体误差的同时,也要保证患者的康复效率。

图2 牵引式机器人康复系统^[20]

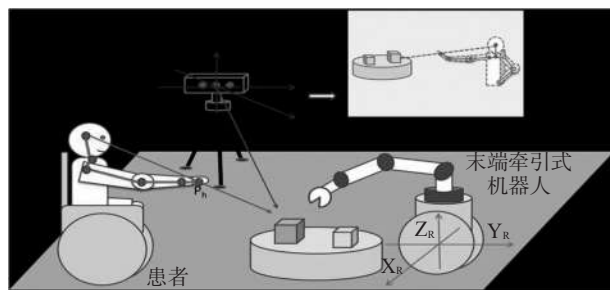
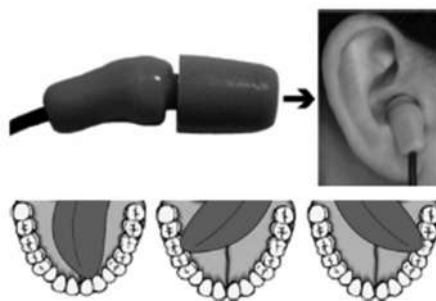


图3 舌头控制系统^[21]



孙熠璇等^[22]研制的上肢康复系统,利用5DOF的外骨骼式机械臂辅助患肢运动。研究者选取健康人体作为受试对象来验证上肢康复系统的功能和有效可行性,通过多组实验观察主动“镜像”训练模式下的单关节和多关节符合运动的映射效果和训练效果,发现Kinect的识别帮助虚拟场景中的人具有良好的运动同步性,提高了实验主体自主控制运动的意愿,有效改善双侧上肢的运动协调性及肌体机能恢复;其中单关节“镜像”运动训练肩部关节和肘关节时发现上臂或者前臂聚到一定程度会出现肢体遮挡无法识别的情况,且通过主动组(缓慢匀速完成一个展收运动)和对照组(保持右侧上肢外展45°),发现缓慢运动下,机器人对主动运动侧上肢的跟踪具有一定的滞后性,而同时通过控制主动侧上肢自由度发现出现肢体遮挡时获取数据产生一定的抖动,影响运动跟踪效果;多关节“镜像”符合运动训练中发现肢体自由度的不同会影响患者主动意识控制的上肢复合运动辨识及跟踪效果,因此考虑到Kinect的运动辨识精度和视野范围的限制,需要通过大量实验不断修正系统中自由度以及训练动作的角度,增强患肢与机械臂的耦合度,减小运动测量误差,从而提高康复效率。

Chungki Lee等^[23]研制的运动康复系统(图4),将Kinect和脑机接口(BMI)所需的Biosemi头罩联合应用采集脑卒中患者的脑信号,研究者邀请5名患者(无脑神经协调障碍)进行Kinect组(利用Kinect直接捕捉并且识别患者的肩部运动和腕部运动)和脑信号组(利用EEG来接收脑控制信息)的实验,通过比较Kinect曲线和脑信号光谱发现两者高度吻合,即将Kinect与BMI相结合可以有效缩短控制信息传递产生的延时,并且与传统传感器(加速计、导电电极需要附着在患者皮肤上才可以采集到数据)相比,Kinect无标记跟踪运动实时性良好,交互方便自然,能有效增强患者的康复信心,但系统适用患者范围有所限制,因此并不适合脑部损伤严重认知能力低下的患者。

对比分析上述系统,会发现将Kinect与其他辅助康复设

备联合应用到上肢运动康复系统,丰富了康复系统功能,适用于上肢运动障碍相对较为严重的患者,有效缓解医患需求的供给予矛盾。该类系统也可以结合计算机视觉技术,以及各种绘图和3D渲染软件设计虚拟的生活场景环境,模拟出日常生活的运动动作,通过视觉反馈、听觉反馈等多通道交互方式刺激中枢神经系统,提高上肢运动功能重建的有效性。而结合Kinect的无标记捕捉运动信息的优势则给予患者良好自然的交互方式,并且运动测量的实时性也能满足康复系统的要求,可以有效降低患者的认知负荷。但系统适用范围的扩大也带来一部分问题,即上肢受损严重的患者常伴有痉挛、肌无力等突发状况,因此便要求康复系统的设计考虑患者所处病程中关节活动度、肌张力以及拮抗之间协调性,并针对不同患者有针对性设计康复训练动作。此外考虑到患者患肢的适应能力,此类康复系统对机械臂等外部设备的安全性以及关节耦合度要求较高,并且由于机械臂的价格和规模随其复杂性的增高而有较大差别,会增加一部分医疗成本。目前,将Kinect与其他设备联合使用的康复系统大多数处于系统原型研究阶段,实验结果也多是软件仿真或者邀请健康用户参与,并未被应用到患者的实际康复训练中,因此还需要通过大量的临床试验和对比通过进一步改善系统的安全度、机械臂的耦合度等,从而达到有效减少患者康复训练时间,提高康复效率的治疗效果的最终目的。

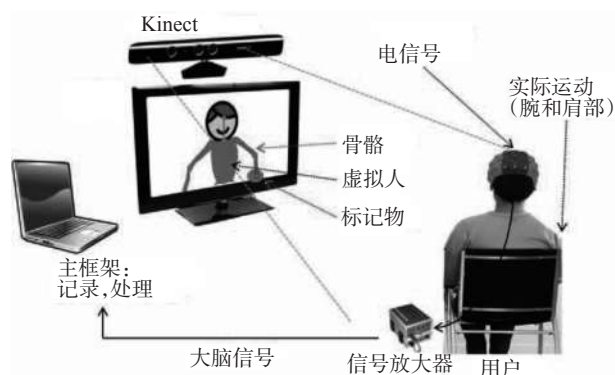
3 结合Kinect的运动康复系统发展趋势

随着近年来患脑卒中、脑麻痹、帕金森病等疾病的患者不断增加,使得肢体运动诱发、肢体协调性训练、肌腱肌群等相关的肌力训练等运动功能康复受到康复医学界的广泛关注。患者期待低成本、高效率的康复系统,而研究人员也在为此目标不断努力。视觉传感器Kinect提供的无接触的人机交互方式能主动实时跟踪患者的动作,无标记物、无接触控制设备给予患者良好自然的交互方式,并且提供语音识别、体势识别等多交互通道减轻患者的认知负荷,研究人员也因此开发出不少结合Kinect的医疗康复系统,可行性已经得到了初步证实,是一种值得深入研究并推广的运动康复方法。但现已开发出的结合Kinect的上肢康复训练系统功能较为单一,大部分需要专业医师的看护指导。今后的发展将呈现以下趋势:

①将Kinect与数据库技术相结合应用到软件自主康复系统中,可用于治疗康复患者将增加身体功能的康复训练转移到社区和家庭中,进而缓解瘫痪患者后期康复护理和医疗资源的需求供给予矛盾,还能够提高康复训练的信息化,有利于康复数据的收集和相关疾病康复的深入研究。

②通过结合多种类型的外部辅助设备多渠道获取患者的运动信息,有效帮助患者监测患者训练的身体状况;个性

图4 系统整体架构图^[24]



化设计康复训练动作(如针对恢复手指精细功能训练的动作等),并将其融于游戏场景中,帮助患者克服大量重复训练的惰性;将运动疗法、心理治疗、语言疗法、功能评测、作业疗法(OT)、制定计划等多种康复训练项目有机结合,同时通过结合其他先进技术,如计算机视觉技术,融合触觉、听觉等多种信息,拓展人机交互的渠道,进而丰富系统的整体功能,扩大患者的使用范围。

③随着互联网+医疗事业的发展,将会出现更多的移动康复医疗应用,并逐步应用于农村、偏远山区医疗康复,同时可以通过云计算技术进行大数据分析,将机器学习整合到康复系统中,从而充分利用患者康复进程数据,深入研发出智能化的新型医疗辅助康复系统,来帮助改善患者的康复就医体验,拓展远程康复训练服务,优化医疗资源配置,进而提高患者康复效率。这将会使得康复治疗应用实现新的飞跃,对推动关乎我国重大民生问题的“智慧医疗”与助残公益事业发展具有重要的社会意义。

参考文献

- [1] 段献荣,单述刚,孙炳照. 痉挛——上运动神经元综合征中易混淆的概念[J]. 神经损伤与功能重建, 2008, 3(5):365—367.
- [2] Olsen TS. Arm and leg paresis as outcome predictors in stroke rehabilitation[J]. Stroke, 1990, 21:247—251.
- [3] 柯福全. 基于视频运动捕捉的肢体康复虚拟现实系统的设计[D]. 湖南:中南大学生物医学工程系, 2012. 1—52.
- [4] Twitchell TE. The restoration of motor function following hemiplegia in man[J]. Brain, 1952, 74(4):443—480.
- [5] Travcrsa R, Cicincil P, Bassi A, et al. Mapping of motor cortical re-organization after stroke[J]. Stroke, 1997, 28:110—117.
- [6] Erica Naone. Microsoft Kinect: How the device can respond to your voice and gestures[J]. Pioneering with Science and Technology, 2011, 4(4):82—83.
- [7] Xia Lu, Chen Chia-Chih, Aggarwal JK. Human detection using depth information by Kinect[J]. International Workshop on Human Activity Understanding from 3D Data in conjunction with CVPR, 2011:15—22.
- [8] 中华医学会. 临床技术操作规范物理医学与康复学分册[M]. 北京:人民军医出版社, 2004. 70—78.
- [9] Jimmy Tran, Alex Ferworn. 3D disaster scene reconstruction using a canune-mounted RGB-D sensor[J]. Computer and Robot Vision(CRV) 2013 International Conference on IEEE, 2013:23—28.
- [10] Gaber A, Faher MF, Waned MA. Automated grading of facial paralysis using the Kinect v2: A proof of concept study [J]. IEEE, 2015:258—264.
- [11] Philip Breedon, Adam Russell, Pip Logan. First for Stroke: using the Microsoft 'Kinect' as a facial paralysis stroke rehabilitation tool [J]. 2014, 14(8):10—12.
- [12] Guevara DC, Vietri G, Prabakar M, et al. Robotic exoskeleton system controlled by Kinect and haptic sensors for physical therapy[J]. Biomedical Engineering Conference, 2013, 45(8):71—72.
- [13] Chuan JS, Chiang CY, Huang JY. Kinect-enabled home-based rehabilitation system using dynamic time warping and fuzzy logic[J]. Applied Soft Computing, 2014, 22: 652—666.
- [14] Chang YJ, Chen SF, Huang JD. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities [J]. Res Dev Disabil, 2011, 32(6): 2566—2570.
- [15] Duarte N, Postolache O, Scharcanski J. KSGphysio—Kinect serious game for physiotherapy[J]. EPE, 2014, 606—611.
- [16] Lozano-Quilis JA, Gil-G6mez H, Gil-G6mez JA. Virtual reality system for multiple sclerosis rehabilitation using KINECT[J]. 2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops. 2013, 366—369.
- [17] 潘洁. 脑卒中后瘫痪肢体功能障碍康复的新进展[J]. 中国现代医生, 2009, 47(24):51—52.
- [18] 朱玉连, 胡永善, 刘宇. 脑卒中患者下肢强制性运动对其步行能力恢复的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(9): 883—886.
- [19] Fatourech M, Bashashati A, Ward R K, et al. EMG and EOG artifacts in brain computer interface systems: A Survey[J]. Clinical Neurophysiology, 2007, 118(3):480—494.
- [20] 梁光业. RGB-D传感器在上肢康复机器人中的应用探究[D]. 上海:上海交通大学控制科学与工程系, 2014:1—57.
- [21] Vaidyanathan R, Buckley M, Mayol-Cuevas W. "Sensor suites for assistive arm prosthetics", Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, 2011, 00:1—6.
- [22] 孙熠璇. 基于虚拟环境训练及视觉运动辨识的上肢康复技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2014:1—77.
- [23] Lee C, Park H, Kim J, et al. Motor rehabilitation based on brain machine interface and Microsoft Kinect[J]. Human Physiology, 2013, 39(2):196—208.
- [24] Jaillard A, Naegele B, Trabucco-Miguel S, et al. Hidden dysfunctioning in subacute stroke[J]. Stroke, 2009, 40(7): 2473—2479.
- [25] Meehan RR, Gosden JR, Rout D, et al. Human cytochrome P-450 PB-1: a multigene family involved in mephentoin and steroid oxidations that maps to chromosome 10 [J]. American Journal of Human Genetics, 1988, 42(1):26—37.
- [26] 陈君, 李泽兵. 脑卒中康复运动功能评定量表的有效性研究[J]. 中国康复医学杂志, 2001, 16(3): 146—148.
- [27] 金冬梅, 燕铁斌. Berg平衡量表及其临床应用[J]. 中国康复理论与实践, 2002, 8(3):155—157.
- [28] 杜凤珍, 邓朋, 侯莹. 居家康复对中后期脑卒中患者ADL能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(2):165—167.
- [29] 高文勇. NIHSS量表和MMSE量表评价急性脑出血患者心肌酶变化的意义[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2014, (23):90—91.
- [30] 姜华强, 项洁. Kinect康复训练辅助系统研究[J]. 人工智能与机器人研究, 2013, 2:79—82.